

طراحی بهینه سدهای انحرافی با استفاده از روش توپولوژی

ابوالفضل شمساییⁱ؛ حسن احمدیⁱⁱ

چکیده

در طراحی سازه ای سدهای انحرافی، دستیابی به شکل بهینه در کاهش هزینه ها و توجیه اقتصادی طرح تاثیر بسزایی دارد. در این تحقیق از روش توپولوژی، با استفاده از نرم افزار ANSYS 10.0 برای محاسبه ابعاد و شکل اقتصادی و بهینه سدهای انحرافی بهره گرفته شده است. به عنوان مطالعه موردی، تحقیقات بر روی سد انحرافی آرتیمان به انجام رسیده است. این سد انحرافی برای انتقال آب از حوضه های مجاور سد مخزنی امامزاده ناصر تویسرکان، طراحی گردیده است. نتایج این مطالعات و طراحی بهینه ابعاد سازه سد انحرافی مذکور نشان می دهند که با استفاده از این روش، ضریب اطمینان به میزان ۳۵٪ افزایش و وزن کل سازه ۳/۵٪ کاهش می یابد. شکل بهینه سد نیز با روش توپولوژی تعیین شده است.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، توپولوژی، سد انحرافی آرتیمان، ANSYS 10.0.

Optimum design of diversion dams, applying topology method

A. Shamsai ; H. Ahmadi

ABSTRACT

In structural design of diversion dams, finding optimum shape and size of dam is very important. An optimum design decreases construction cost and improves economical value of projects. In this research, ANSYS 10.0 software is used to calculate optimum size and shape of diversion dams. In this paper, the optimization procedure with case study of Artiman diversion dam using topology method is discussed. Artiman diversion dam, with 4.6 m height, is located in Hamedan province (Toyserkan city) and diverts water from Artiman watershed to the reservoir of Emamzede naser dam with the length of 3.2 Km channel. According to the Results of this research, by using topology method, the safety factor can increase up to 35%. On the other hand, by using this optimization procedure, the total weight of structure decreases by 5.3%. Finally, an optimum shape of this structure is suggested.

KEYWORDS: OPTIMIZATION, TOPOLOGY, ARTIMAN DIVERSION DAM, ANSYS 10.0

ⁱ دکترای عمران، استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، Shamsai@sharif.edu

ⁱⁱ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد رودهن، دانشجوی دکترای عمران، Ahmadiguil@yahoo.com

۱- مقدمه

انتقال آب از یک حوضه به حوضه مجاور و غیره انجام می شود. نیروهای مختلفی از جمله نیروهای ناشی از وزن، زلزله، باد، امواج، نیروهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی بر روی سازه سد انحرافی اثر می گذارند. محاسبه و تحلیل سازه سدهای انحرافی تحت تاثیر نیروهای فوق، مقوله مهم و با اهمیتی در تامین مقاومت و

از سدهای انحرافی برای انحراف و انتقال آب رودخانه استفاده می شود. انحراف آب رودخانه با توجه به نیازهای مختلف مطرح نظیر آبرسانی به اراضی کشاورزی، انتقال آب برای نیروگاههای برقابی جریانی،

اتصال اعضاء می باشد. در مورد سازه های پیوسته، هدف موردنظر، یافتن شکل مرزهای داخلی و خارجی سازه و یا تعداد حفره ها در آن می باشد [۲]. جانسون (Johnson) و همکاران طراحی بهینه سیستم های ساختمانی را مورد بررسی قرار دادند. کاربرد روشهای بهینه سازی در طراحی سیستم های حرارتی توسط استاکر (Stoker) ارائه شده است [۳].

۲- متدولوژی بهینه سازی توپولوژیک

در روش بهینه سازی توپولوژی، توزیع ماده در جسم بعنوان پارامتر بهینه سازی مدنظر قرار می گیرد و مراحل تعیین خواص مواد و تهیه مدل اجزای محدود انجام شده و سپس تابع هدف معین می گردد و با انتخاب متغیرهای حالت (متغیرهای وابسته قیدی) مساله حل می شود [۴]. برای انجام بهینه سازی با روش توپولوژی مراحل مختلف شامل تعیین مساله سازه ای، انتخاب نوع المان، انتخاب نواحی مورد نظر برای اعمال بهینه سازی، تعیین و کنترل موارد مربوط به بارگذاری یا استخراج فرکانس، تعیین و کنترل فرآیند بهینه سازی و در انتها مشاهده و آنالیز نتایج حاصل شده انجام می گردد.

۲-۱- تعیین مساله سازه ای

در مدلسازی مساله تمامی عملیات لازم در یک آنالیز الاستیک خطی صورت می پذیرد و لازم است خواص مواد از قبیل مدول یانگ، نسبت پواسون، چگالی و ... را تعیین نمود. سپس با انتخاب یکی از المان های سازگار با بهینه سازی توپولوژی، مدل اجزاء محدود تولید می گردد و بسته به معیار مورد نیاز در مساله جهت بهینه سازی توپولوژی، یکی از موارد بارگذاری و شرایط مرزی در یک آنالیز استاتیکی سازه ای خطی و یا شرایط مرزی در یک آنالیز فرکانس طبیعی اعمال می شود.

۲-۲- انتخاب نوع المان

المان های سازگار با این قابلیت، المانهای صفحه ای دو بعدی PLANE2 و PLANE82، المانهای حجمی سه بعدی SOLID92 و SOLID95 و المان پوسته ای SHELL93 می باشند. المانهای دوبعدی صفحه ای فوق

دوام سازه سد می باشد. عموماً طراحی ها به دو نوع کلی طراحی عملی و طراحی بهینه تقسیم بندی می شوند. در طراحی عملی اگرچه تمام پیش نیازهای یک طراحی رعایت می گردند، ولی می توان بعضی از قسمت های آن را به نحو بهتری طراحی نمود طوریکه این تغییرات منجر به یک طرح بهینه گردد. در این تحقیق به بهینه سازی شکل سازه سدهای انحرافی با استفاده از روش توپولوژی پرداخته شده است و هدف آن یافتن مناسبترین شکل برای سازه تحت طراحی می باشد، بطوریکه تابع هدف (سختی، فرکانس طبیعی، انرژی سازه، و...)، مقدار کمینه یا بیشینه نسبت به قیود اعمالی بر آن را اتخاذ کند.

مسائلی که در بهینه سازی سازه ای مورد بررسی قرار می گیرند، معمولاً به عنوان مسائل بهینه سازی غیر خطی مدل می شوند. تابع هدف و قیود، در برگیرنده خواص متعددی از سازه و پاسخ های آن تحت بارگذاری می باشند و متغیرهای طراحی معمولاً اندازه بخشهای مختلف سازه یا شکل سازه هستند. بطور کلی بهینه سازی سازه ای به چهار ناحیه، تحت عناوین زیر تقسیم بندی می گردد: الف) روش بهینه سازی مصالح (Material Optimization): این روش مربوط به طراحی بهینه مواد مانند کامپوزیتها با خواص مشخص می باشد.

ب) روش بهینه سازی شکل (Shape Optimization): در این روش شکل مرزهای سازه مشخص می گردد. یک کاربرد از این روش، از بین بردن تمرکز تنش می باشد، که می تواند باعث تخریب سازه تحت بارگذاری گردد.

ج) روش بهینه سازی اندازه (Sizing Optimization): در این روش متغیرها، ابعاد سازه می باشند. یکی از کاربردهای این روش، مشخص کردن ضخامت بهینه یک پوسته الاستیک خطی در یک سازه مشخص می باشد. در هر دو روش بهینه سازی شکل و اندازه، فرمولاسیون مساله اجازه ایجاد یا از بین بردن المان در سازه مثل بوجود آمدن حفره ها در سازه را نمی دهد.

د) روش بهینه سازی توپولوژی (Topology Optimization): این روش در فازهایی از مراحل طراحی به کار می رود که روشهای اندازه و شکل معرف جزئیات طراحی باشند. در سازه های گسسته مثل خرپاها، این روش شامل مشخص کردن تعداد، اندازه، موقعیت و

در موارد تنش سطحی و یا تقارن محوری استفاده می شوند [۵].

۲-۳- تعیین نواحی مورد نظر برای اعمال بهینه

سازی و نواحی ثابت

المانهایی از مدل که از نوع اول باشند (TYPE Number=1)، تحت عملیات بهینه سازی توپولوژی قرار می گیرند. به همین علت نواحی از مدل که نیاز به اعمال بهینه سازی توپولوژی نیست، با المانهائی غیر از المان نوع اول شبکه بندی می شوند [۵].

۲-۴- تعیین بارگذاریها یا استخراج فرکانسها

- آنالیز استاتیکی سازه ای خطی

در این حالت می توان بهینه سازی توپولوژی را برای یک مساله شامل یک یا چند بارگذاری انجام داد. برای بدست آوردن یک حل بهینه برای چند مورد بارگذاری مستقل از هم، لازم است پس از تعیین هر مورد بارگذاری داده های مربوط به آنرا ذخیره کرده و در نهایت مجموعه بارگذاریها را حل نمود.

مسائل شامل چند بارگذاری را می توان به سه صورت حل نمود. بعنوان نمونه یک مساله که دارای ۵ حالت بارگذاری است، با استفاده از روشهای پنج حل توپولوژی مستقل از هم، یک حل توپولوژی برای پنج بارگذاری مستقل و یک حل توپولوژی برای ترکیب پنج بارگذاری می توان تحلیل نمود [۶].

- آنالیز مودال

با تعیین فرکانس طبیعی به عنوان هدف بهینه سازی توپولوژی، یک آنالیز مودال در طی حلقه بهینه سازی انجام می شود. بسته به مدل فرکانسی، نیاز به اختصاص تعدادی فرکانس برای حل در آنالیز مودال می باشد. همچنین لازم است تعداد موده های لازم برای گسترش تعیین شود. بیشینه کردن فرکانس طبیعی معمولاً هدف یک مساله توپولوژی فرکانس طبیعی است [۶].

۲-۵- تعیین و کنترل پروسه بهینه سازی

پروسه بهینه سازی توپولوژی از چهار قسمت شامل تعیین توابع بهینه سازی، تعیین توابع هدف و قیدی، انجام مقدمات بهینه سازی و اجرای بهینه سازی توپولوژی

تشکیل شده است. در این پروسه دو انتخاب شامل کنترل دقیق و اجرای تک تکراری و یا انجام تکرارهای متعدد به طور خودکار در دسترس می باشد و استفاده از روش دوم بیشتر توصیه شده است [۵].

۲-۶- آنالیز نتایج بهینه سازی توپولوژی

در آنالیز نتایج بهینه سازی توپولوژی موارد زیر باید مد نظر باشد:

- نتایج بطور قابل ملاحظه ای نسبت به ساختار بارگذاری حساس است. چه بسا که یک تغییر جزئی در بارگذاری منجر به تغییرات بزرگی در نتایج شود.

- نتایج نسبت به چگالی شبکه اجزای محدود بسیار حساس است. تعداد المانها و ریزی و درشتی آن، مساله را از لحاظ زمانی و کیفیت تحت تاثیر قرار می دهد.

- نتایج نسبت به ضریب پواسون حساسیت بیشتری در مقایسه با مدول یانگ دارد [۶].

۳- الگوریتم بهینه سازی

از آنجائیکه روش مرتبه اول (First Order) از دقت بالاتری نسبت به سایر روشها برخوردار می باشد، از این روش به عنوان الگوریتم بهینه سازی استفاده شده است. این روش از مشتقات توابع وابسته نسبت به متغیرهای طراحی استفاده می کند و به وسیله یک سری توابع جریمه مربوط به متغیرهای حالت و تابع هدف، شکل دهی شده و منتهی به یک بردار جهت جستجو در فضای طراحی می گردد. تکنیک های Conjugate direction, Steepest decent در هر تکرار بکار گرفته می شوند تا همگرایی مطلوب حاصل شود.

- یک تابع هدف بدون قید، بطور اجمالی بصورت زیر فرمول بندی شده است:

$$Q(x, q) = \frac{f}{f_0} + \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left[\sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right] \quad (1)$$

در این فرمول Q: تابع هدف بدون بعد برای مساله بدون قید، f_0 : مقدار تابع هدف مرجع می باشند. ارضای قیود بوسیله پارامتر رویه پاسخ^۱ (q) کنترل می شود. توابع پنالیتی خارجی^۲ (P_x) بر روی

¹ Response Surface Parameter

² Exterior Penalty Functions

و در تکرارهای بعدی ($j > 0$) بردارهای جستجو توام بر اساس روش پولاک (Polak) - ریبر (Ribiere) شکل می گیرند.

$$d^{(j)} = -\nabla Q(x^{(j)}, q_k) + r_{j-1} d^{(j-1)} \quad (9)$$

$$r_{j-1} = \frac{[\nabla Q(x^{(j)}, q) - \nabla Q(x^{(j-1)}, q)] \cdot \nabla Q(x^{(j)}, q)}{|\nabla Q(x^{(j-1)}, q)|^2} \quad (10)$$

باید توجه داشت، زمانی که تمام قیود مربوط به متغیرهای طراحی ارضاء شوند، خواهیم داشت:

$$P_x(x_i) = 0 \quad (11)$$

این بدان معنی است که q می تواند بصورت یک ضریب خارجی Q_p نوشته شود:

$$Q_p(x^{(j)}, q) = q Q_p(x^{(j)}) \quad x_i \leq x_i \leq \bar{x}_i, (i=1,2,\dots,n) \quad (12)$$

اگر اصلاحات مناسبی صورت پذیرد، q می تواند از حالت تکرار به حالتی که طبیعت درهم آمیخته معادله (9) را خراب نکند، تغییر یابد. تنظیم q ، کنترل داخلی قیود مربوط به متغیرهای حالت را فراهم می کند. برای اینکه قیود در محدوده مربوطه قرار گیرند، لازم است که همگرایی حاصل شود. برای توجیه این مطلب، واضح است که معادله (9) باید به دو بردار جهت جداگانه تقسیم شود:

$$d^{(j)} = d_f^{(j)} + d_p^{(j)} \quad (2)$$

هر بردار جهت نیز، رابطه بازگشتی جداگانه ای برای خود دارد:

$$d_f^{(j)} = -\nabla Q_f(x^{(j)}) + r_{j-1} d_f^{(j-1)} \quad (3)$$

فاصله سطرها در عنوان و چکیده، معمولی (Single) و در متن مقاله، ۰/۹۵ برابر

$$d_p^{(j)} = -q \nabla Q_p(x^{(j)}) + r_{j-1} d_p^{(j-1)} \quad (4)$$

گاهی اوقات، الگوریتم با قرار دادن $\tau_j=1$ و اعمال تکرار Steepest decent، مجددا شروع خواهد شد. شروع مجدد زمانی اتفاق می افتد که شرایط ill-conditioning بوجود آمده باشد و یا ارضای قید مربوط به متغیر حالت بحرانی، بسیار محافظه کارانه باشد. در این روش فرض می شود که بردار گرادیان قابل دستیابی باشد. بردار گرادیان با بکاربردن تقریب، بصورت زیر محاسبه می شود:

متغیرهای طراحی اعمال می شوند و متغیرهای حالت و قیود طراحی بوسیله توابع پنالتی داخلی بسط داده شده^۱ (P_w, P_h, P_g) ارائه می گردند. بر اساس بردارهای جهت جستجوی اتخاذ شده، مزیت های محاسباتی قطعی زمانی ایجاد می شود که تابع Q به صورت جمع دو تابع زیر، تعریف شود:

$$Q_f(x) = \frac{f}{f_0} \quad (2)$$

$$Q_p(x, q) = \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left[\sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right] \quad (3)$$

$$Q(x, q) = Q_f(x) + Q_p(x, q) \quad (4)$$

توابع Q_f و Q_p به ترتیب به تابع هدف و قیود پنالتی مرتبط می شوند.

برای هر تکرار (j) در بهینه سازی، یک بردار جهت جستجوی $d^{(j)}$ در نظر گرفته می شود. تکرار بعدی از معادله زیر بدست می آید:

$$X^{(j+1)} = X^{(j)} + S_j d^{(j)} \quad (5)$$

از $X^{(1)}$ ، پارامتر جستجوی خطی S_j که به کمترین مقدار Q در جهت بردار $d^{(1)}$ مربوط می شود، بدست می آید. برای محاسبه S_j از ترکیب الگوریتم طلائی^۲ و تکنیک انطباق درجه دوم محلی استفاده می گردد. بازه تغییرات S_j به رابطه زیر محدود می شود:

$$0 \leq S_j \leq \frac{S_{\max} S_j^*}{100} \quad (6)$$

S_j^* بزرگترین اندازه گام ممکن در جستجوی خطی برای تکرار جاری و S_{\max} ماکزیمم اندازه گام در جستجوی خطی می باشند. راه حل کلیدی در کمینه کردن کلی معادله (4) بر پایه تولید ترتیبی بردار جهت جستجو و تنظیمات درونی پارامتر رویه پاسخ می باشد. برای تکرار اولیه، $z=0$ فرض می شود که بردار جهت جستجو بصورت منفی گرادیان تابع هدف بدون قید خواهد بود.

$$d^{(0)} = -\nabla Q(x^{(0)}, q) = d_f^{(0)} + d_p^{(0)} \quad (7)$$

در رابطه فوق $q=1$ بوده و داریم:

$$d_f^{(0)} = -\nabla Q_f(x^{(0)}), d_p^{(0)} = -\nabla Q_p(x^{(0)}) \quad (8)$$

برای تکرار اولیه، روش جستجو Steepest decent بوده

¹ Extended Interior Penalty Functions

² Golden Section Algorithm

$$\frac{\partial Q(x^{(j)})}{\partial x_i} \approx \frac{Q(x^{(j)} + \Delta x_i, e) - Q(x^{(j)})}{\Delta x_i} \quad (5)$$

در این رابطه e بردار تشکیل شده در i امین مولفه و Δx_i در تمام مولفه های دیگر از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta x_i = \frac{\Delta D}{100} (\bar{x}_i - \underline{x}_i) \quad (6)$$

در رابطه بالا ΔD : اندازه گام بصورت اختلاف از جلو می باشد. تعداد تکرارهای روش مرتبه اول (First Order)، تا جایی ادامه می یابد که همگرایی صورت پذیرد و یا مساله پایان یابد. این دو معیار در پایان هر حلقه تکرار در بهینه سازی، مورد ارزیابی قرار می گیرد. همگرایی زمانی صورت می گیرد که اختلاف بین پارامترهای جاری طراحی (j) با پارامترهای قبلی ($j-1$) و بهترین پارامتر (b)، از تیرانس در نظر گرفته شده برای تابع هدف کمتر باشد. همچنین نیاز است که تکرار نهایی از روش جستجوی Steepest decent استفاده کند. به عبارت دیگر تکرار به روش Steepest decent اعمال شده و همگرایی دوباره بررسی شود. حل مساله زمانی به پایان می رسد که تعداد تکرارها (ni) با تعداد تکرارهای مجاز تعریف شده در ابتدای مساله، برابر گردد [7].

۴- معرفی نرم افزار ANSYS®10.0

این نرم افزار در سال ۱۹۷۱ توسط شرکت آمریکایی Swanson به عنوان یکی از پیشگامان نرم افزارهای اجزای محدود ساخته شده و مورد استفاده محققان قرار گرفته و جزء اولین نرم افزارهایی است که آنالیزهای غیر خطی، مکانیک شکست، مخازن و سایر آنالیزها را در بسته نرم افزاری خود دارد. از قابلیت های بالای این نرم افزار می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- در این نرم افزار روشی موجود است که به کاربر اجازه می دهد تا قابلیت های نرم افزار را به کمک ماکرو (Macro) افزایش دهد. لذا کاربر این اجازه را می یابد تا مطابق با نیاز ویژه خود امکانات نرم افزار را به کار گیرد. از این مشخصه در این تحقیق استفاده شده است.

- حل گره های قدرتمند و هوشمند این نرم افزار کاربرد آن را از کاربردهای تحقیقاتی به کاربردهای صنعتی ارتقاء داده است به طوری که هم در امور تحقیقاتی و هم در

امور صنعتی می توان از آن استفاده کرد.

- شامل الگوریتم ها و تکنیک های مختلفی برای انجام صحیح فرایند بهینه سازی می باشد.

- در این مدل امکان اعمال بارگذاری های سازه ای، حرارتی، مغناطیسی، الکتریکی و سیالاتی و در تقسیم بندی دیگر بارگذاری های حجمی، سطحی، اینرسی، بارهای متمرکز و درجه آزادی وجود دارد و امکان مطالعه در سطح وسیعی از علوم را فراهم آورده است.

در تحقیق حاضر از این نرم افزار (با توجه به قابلیت ها و انعطاف پذیری بالای آن) استفاده شده است که با تعیین توابع هدف و قیدی مساله و توابع بهینه سازی توپولوژی، رهیافت بکار رفته در حل مساله و تیرانس همگرایی و پروسه بهینه سازی توپولوژی معرفی شده و با انجام آنالیزها با روشهای تکرار واحد و تکرارهای متعدد بهینه سازی، اهداف این تحقیق برآورده می گردد.

۵- معرفی مطالعه موردی

سد انحرافی آرتیمان به منظور انتقال آب حوضه آبریز رودخانه ای به همین نام، به مخزن سد خاکی امامزاده ناصر (سدی بر روی رودخانه کرزان در حوالی شهرستان تویسرکان، در نزدیکی روستای امامزاده ناصر) طراحی شده است. شکل ۱ پروفیل طولی سرریز سد انحرافی آرتیمان را نشان می دهد. مشخصات سد انحرافی مذکور به شرح ذیل می باشد:

- نوع سد انحرافی: سد انحرافی با سرریز ثابت
- دوره بازگشت سیلاب طراحی: ۱۰۰ ساله
- دبی طراحی سرریز: ۲۱/۶۲ متر مکعب بر ثانیه
- عمق تقرب P (ارتفاع سرریز از بستر رودخانه): ۲/۰ متر
- طول سرریز: ۱۵/۰ متر
- ارتفاع آب روی سرریز: ۰/۷۳ متر
- معادله منحنی اوجی سرریز: $Y = 0.230X^{1.852}$

۶- بهینه سازی شکل سرریز سد انحرافی

آرتیمان با استفاده از روش توپولوژی

برای بهینه سازی سازه ای این سد برنامه کامپیوتری به زبان پارامتری نرم افزار ANSYS®10.0 تهیه شده

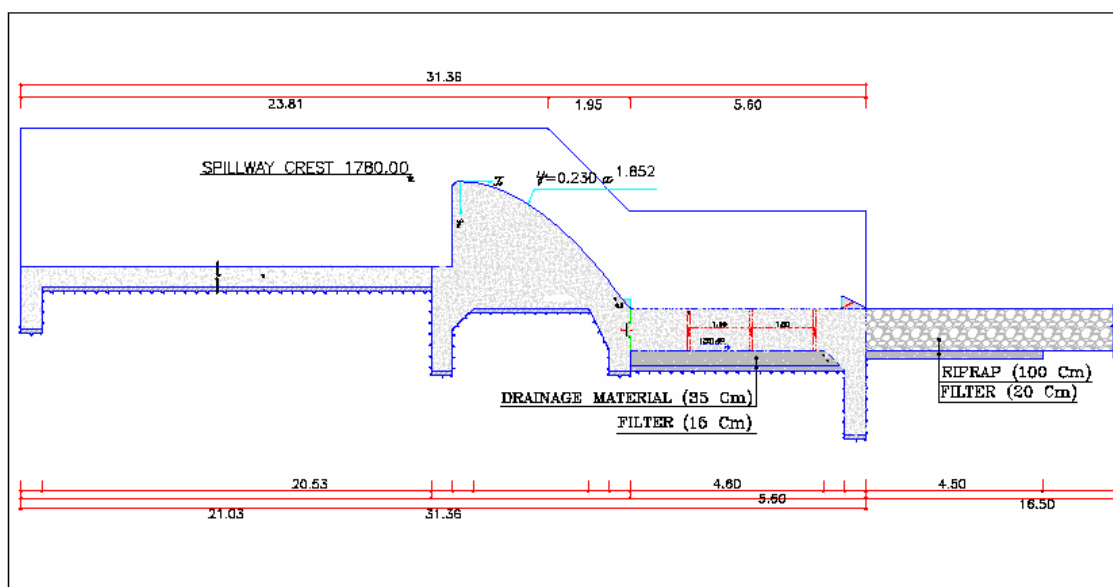
است. این برنامه مشتمل بر موارد و مراحل ذیل می باشد:

۶-۱- تعیین تابع هدف

سد انحرافی آرتیمان دارای ۴/۶ متر ارتفاع (نسبت به تراز پی)، ۴/۷۳ متر عرض، ۱۵/۰ متر طول و جرم کل تقریبی ۴۳۳/۲ تن (۳۶۰ تن مربوط به بتن و مابقی مربوط به آرماتورهای بکار رفته در سازه سد) است. تابع هدفی که برای بهینه کردن این سازه در نظر گرفته شده، شامل پارامتر وزن و ضریب اطمینان سازه می باشد. ابعاد سد انحرافی آرتیمان باید طوری محاسبه گردند که وزن سازه کمینه شده و همچنین ضریب اطمینان سازه در برابر نیروهای هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی نیز بیشترین مقدار ممکن را داشته باشد. در برنامه تهیه شده برای انجام بهینه سازی با توجه به آنالیزهای استاتیکی و دینامیکی، کمترین مقدار ضریب اطمینان سازه معادل ۷ در

نظر گرفته شده ($FS \geq 7$) و مجموع جرم سازه نیز نباید از مقدار ۴۳۳/۲ تن بیشتر شود ($m_{Total} \leq 433.2 \text{ ton}$). در عملیات بهینه سازی سازه سد، دو پارامتر مذکور رفتاری در خلاف جهت یکدیگر دارند، بطوری که با افزایش مقدار ضریب اطمینان، مقدار وزن سازه افزایش می یابد. این روند خلاف جهت تابع هدف می باشد و بالعکس با کاهش وزن سازه، مقدار ضریب اطمینان کاهش یافته که مطلوب تابع هدف نخواهد بود. لذا در بهترین شرایط باید دو تابع هدف مذکور بهینه شوند.

کلیه مقادیر اولیه پارامترهای طول، وزن سازه و سایر پارامترهای دخیل در بهینه سازی نظیر ضریب الاستیسیته بتن و آرماتور، چگالی بتن و آرماتور، ضریب پواسون بتن و آرماتور به عنوان ورودی به مدل معرفی شده اند.



شکل ۱: پروفیل طولی سرریز سد انحرافی آرتیمان [۱]

طولهای مدل را با ضریب مقیاسی (Scale Factor) تعدیل کرده تا در زمان تحلیل، مقدار واقعی شکل سازه طراحی گردد.

المان دو بعدی PLANE82 که متناسب با نوع سازه و تحلیل بهینه سازی سازه سد انحرافی می باشد، مورد استفاده قرار گرفته است.

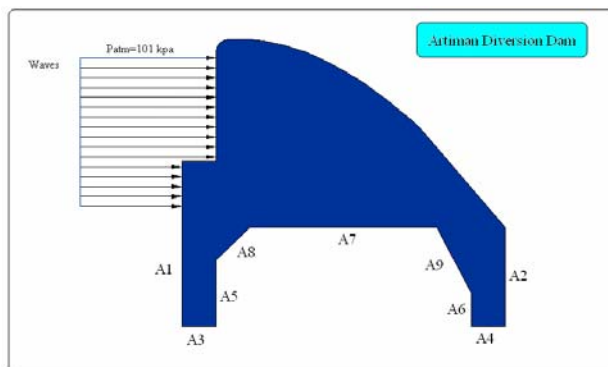
۶-۲- مدل سازی

در مدل دو بعدی سد انحرافی آرتیمان، شرایط مرزی سازه ای اعمال شده است. مطابق شکل ۲ سطوح A1 و A2 در راستای محور طولی X، سطوح A3 و A4 در دو راستای طولی X و عرضی Y، سطوح A5 و A6 در راستای محور طولی X و سطح A7 در راستای محور عرضی Y مقید و ثابت شده اند. نیروی حاصل از امواج (Waves) نیز در این شکل نشان داده شده است. در مدل سازی برای تحلیل به روش توپولوژی، بیشترین

- فشار هوا در قسمت سمت چپ سد برابر فشار اتمسفر ($101/3$ کیلو پاسکال) 760 mmHg می باشد.
- سرعت امواج در پائینترین لایه آب حدود صفر در نظر گرفته شده است.
- تغییرات فشار در امتداد عمق آب، هیدرواستاتیک می باشد.
- فرض بر این است که سرعت باد 56 نات (Knot)، شرایط باد نیز در وضعیت طوفان و نیروی باد حدود 11 Beaufort می باشد [۱۰].
- متوسط زمان تناوب امواج 25 ثانیه و دوره تناوب حداکثر انرژی امواج $21/1$ ثانیه در نظر گرفته شده است.
- طول متوسط موج 910 ft و حداقل جذب امواج 2100 Nautical Mile در نظر گرفته شده است.
- ضریب مقیاس (که به آن فاکتور کاهش وزنی نیز گفته می شود) در این مدل دو مقدار 30% و 40% در نظر گرفته شده است.

۶-۴ - آنالیز نتایج تحلیل

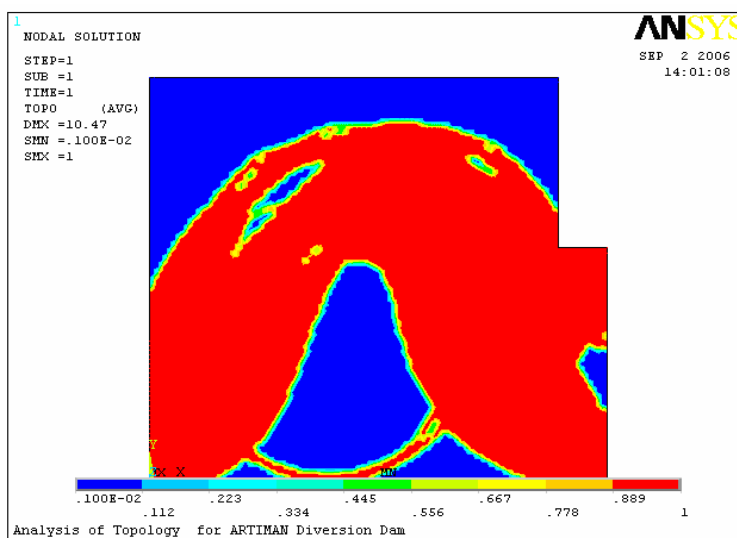
- نتایج حاصل از تحلیل به روش توپولوژی بر طبق شرایط مدل و بارگذاری تشریح شده برای ضریب کاهش 30% در شکلهای ۳ و ۴ و به ازای ضریب کاهش 40% در شکلهای ۵ و ۶ نشان داده شده است.



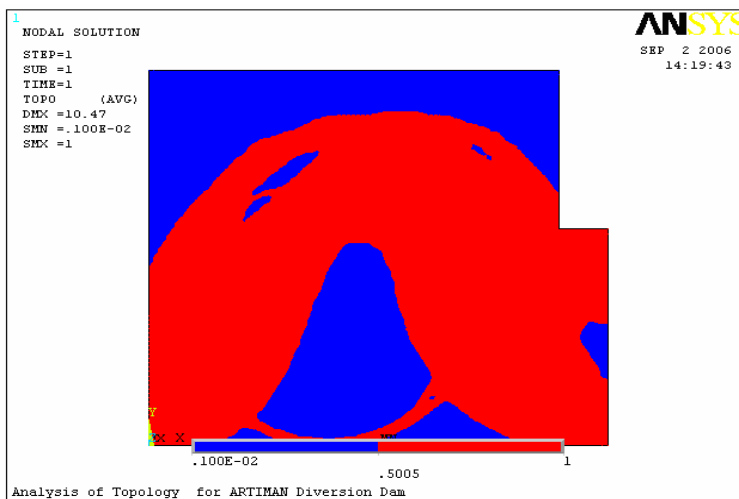
شکل ۲: شرایط مرزی و اولیه در تحلیل بهینه سازی سد انحرافی آرتیمان در برابر نیروهای هیدرودینامیکی

۶-۳ - بارگذاری مدل

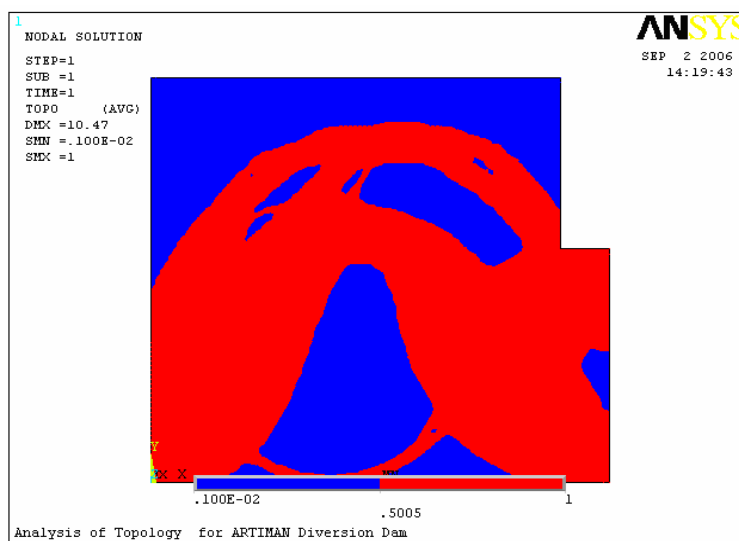
- در تحلیل بهینه سازی سدهای انحرافی تحت تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی به روش توپولوژی، پارامترهای سرعت، فشار، درجه حرارت، طول موج، زمان تناوب و انرژی موج از مهمترین مشخصه ها در تعیین شرایط اولیه و مرزی می باشند. شرایط اولیه ای که روی این مدل اعمال شده است، به شرح زیر می باشند:
- جریان امواج، مغشوش (TURBULENT)، گذرا (TRANSIENT) و آدیاباتیک (ADIABATIC) در نظر گرفته شده است. این جریان از سمت راست به چپ (در جهت خلاف محور Xها) در حال حرکت می باشد.
- سرعت امواج در ورودی قسمت چپ سد بصورت هارمونیک (سینوسی) در نظر گرفته شده است.



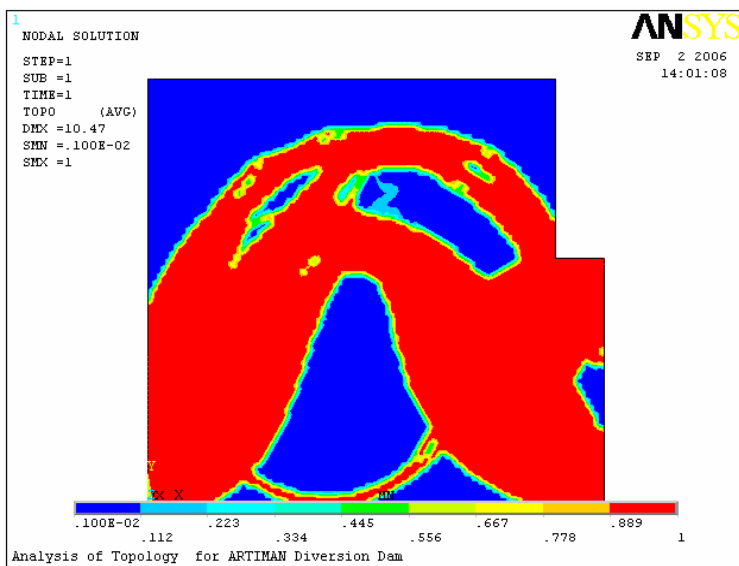
شکل ۳: نتایج حاصل از تحلیل با روش توپولوژی (ضریب کاهش 30%)



شکل ۴: نتایج حاصل از تحلیل با روش توپولوژی (ضریب کاهش ۳۰٪)



شکل ۵: نتایج حاصل از تحلیل با روش توپولوژی (ضریب کاهش ۴۰٪)



شکل ۶: نتایج حاصل از تحلیل با روش توپولوژی (ضریب کاهش ۴۰٪)

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور دستیابی به سازه بهینه سدهای انحرافی، دو تحلیل عمده شامل بهینه سازی ابعاد سازه سد انحرافی و بهینه سازی شکل سازه (بهینه سازی به روش توپولوژی) انجام شده است. در مورد بهینه سازی ابعاد سازه سد انحرافی، ابعاد سازه بهینه محاسبه شده و نتایج نشان می دهند که ضریب اطمینان سازه به میزان ۳۵٪ افزایش یافته و وزن سازه نیز به میزان ۵/۳٪ کم شده است. شکل بهینه سرریز نیز با بکارگیری روش توپولوژی تعیین و در شکل ۵ ارائه گردیده است.

۸- مراجع

- [۱] شرکت مهندسان مشاور آبیگر، "گزارش طراحی سدهای انحرافی سرکان و آرتیمان"، ۱۳۸۱.
- [۲] Pohlhofer, T., Langer, H. and Baier, H., "Towards a Configuration Design Optimization Method", 5th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (ISSMO); 19-23 Mai 2000, Lido di Jesolo-Venice, Italian.
- [۳] Gleichmar, R., "Approximation And parallel computing in multi disciplinary structural optimization "; PHD thesis LLB/TUM, to be published

- [۴] Lee, S.J., Bae, J.E. and Hinton, E., "Shell topology optimization using the layered artificial material model", Int. J. Num. Math. Eng., 47, 843-867, (1999).
- [۵] Belblidia, F. and Bulman, S., "A hybrid topology optimization algorithm for static vibrating shell structures", Int. J. Num. Math. Eng., 54, 835-852, (1998).
- [۶] Stegmann, J. and Lund, E., "Topology optimization of multi-layered shell structures undergoing large displacements", In Proc. Fifth World Cong. On Comp. Mech. (WCCM V) (Ed. H. A. Mang et. al.), Vienna, (1998). <http://wccm.tuwien.ac.at>.
- [۷] Meske, R., Sauter, J. and Friedrich, M. "Optimization of Elastomer-Metal Components with TOSCA and ABAQUS", 2nd European Conference on Constitutive Models for Rubber (ECCMR), 10-12. September 2000, Hannover.
- [۸] Sauter, J. and Meske, R. "Industrial Applications of Topology and Shape Optimization with TOSCA and ABAQUS", ABAQUS World Users Conference 2000, 29.5-1.6.2000, Maastricht, The Netherlands.
- [۹] Som, S.K., and Biswas, G., "Fluid Mechanics", Tata McGraw Hill Book Co., 2001.
- [۱۰] User Manual of ANSYS10 Software.